

УДК 622.691.24.519

АДАПТИВНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ЗАКАЧКИ ГАЗУ В ПСГ ЗА УМОВ ВОДОНАПІРНОГО РЕЖИМУ

Р.Я. Шимко, В.Я. Грудз, Д.Ф. Тимків, Я.В. Грудз

ДК Укртрансгаз, ІФНТУНГ, 76019 м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15,

Создана математическая модель газодинамических процессов, происходящих в продуктивном горизонте при создании подземного хранилища газа в истощенном газовом месторождении. Приводятся основные уравнения, краевая задача и алгоритм реализации модели.

При закачці газу в продуктивний горизонт за умов високої рухомості контурних вод режим роботи ПСГ близький до водонапірного. В ідеальному варіанті середня швидкість фільтрації води в кожному з перерізів пласта повинна бути однаковою. Реально має місце певний пружний стиск води, через що швидкість фільтрації змінюється вздовж просторової координати. Тому швидкості фільтрації води в зоні газодинамічного контакту (ГВК) і на контурі в кожен момент часу будуть різними. Це викликає труднощі при математичному моделюванні газодинамічних процесів в продуктивному горизонті, пов'язані з невизначеністю граничних умов. Тому з метою створення математичної моделі фільтрації води імітується на контурі пласта розвантаження води на поверхню через експлуатаційні свердловини з умовним дебітом Q_B , який вважатимемо адаптивним параметром.

Тоді газодинамічна одномірна осесиметрична математична модель продуктивного горизонту з потужністю h і радіусом контура R за умови лінійної фільтрації води і газу в пористому середовищі представляється системою рівнянь [1]

$$\begin{aligned} \frac{\partial P_g}{\partial t} &= \kappa_g \frac{\partial^2 P_g}{\partial x^2} \\ \frac{\partial P_z}{\partial t} &= \kappa_z \frac{\partial^2 P_z}{\partial y^2} \end{aligned} \quad (1)$$

де: P_g, P_z - тиски у водній і газовій областях продуктивного горизонту; κ_g, κ_z - коефіцієнти п'єзопровідності у водному і газовому

The mathematical model of gas-dynamic process, occurring in producing horizon at created at creation of underground gas storage in depleted gas field. The basic equations, boundary value and algorithm of realization of model are represented

середовища пласта відповідно; x, y - просторові координати, причому $x + y = R$.

Вважається, що до початку закачки газу тиск по пласту розподілений рівномірно, тобто:

$$t = 0 \quad P_g(x, 0) = P_z(y, 0) = P_0. \quad (2)$$

Починаючи з певного моменту часу $t > 0$, в центрі пласта проводиться закачка газу з масовою продуктивністю Q_m , а на контурі – відбір води з масовим дебітом Q_B . Використавши рівняння Дарсі, одержимо граничні умови у вигляді

$$\left. \frac{\partial P_z}{\partial y} \right|_{y=0} = -\frac{v_z}{k_z} \left(\frac{Q_m}{F} \right), \quad (3)$$

$$\left. \frac{\partial P_g}{\partial x} \right|_{x=0} = -\frac{v_B}{k_B} \left(\frac{Q_B}{f} \right).$$

На рухомій межі ГВК спостерігається рівність лінійних швидкостей газової та рідкої фаз

$$\frac{k_z}{v_z} \left. \frac{\partial P_z}{\partial y} \right|_{y=l} = \frac{k_g}{v_g} \left. \frac{\partial P_g}{\partial x} \right|_{x=R-l}, \quad (4)$$

де: $l(t)$ - координата рухомої межі ГВК; k_z, k_g - фазові проникливості пористого середовища по газу і воді; v_z, v_g - кінематичні в'язкості газу і води; F, f - площі поверхонь поступлення газу в пласт і відбору води відповідно.

Розв'язок рівнянь системи шукався методом Фур'є окремо для газової та водної областей. Для тисків в газовій і водній областях як функції часу і просторової координати одержимо

$$P_z(x, t) = P_0 - \frac{\eta}{k_z} \frac{Q_m}{\rho F} (R - x) + \frac{2}{R-l} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\int_0^{R-l} \left(P_0 + \frac{v_z}{k_z} \left(\frac{Q_m}{F} \right) (R-x) \sin(\lambda_n x) dx \right) \times \right. \\ \left. \times \exp(-\lambda_n^2 \kappa_z t) \cos(\lambda(R-x)) \right] \quad (5)$$

$$P_B(x, t) = P_0 - \frac{v_B}{B} \frac{Q_B}{F} x + \frac{2}{l} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\int_0^l \left(P_0 + \frac{v_B}{k_B} \left(\frac{Q_B}{f} \right) x \sin(\lambda_n x) dx \right) \times \right. \\ \left. \times \exp(-\lambda_n^2 \kappa_{II} t) \cos(\lambda x) \right]$$

для швидкості фільтрації газу

$$W_z(y, t) = \frac{Q_m}{\rho F} - 2 \frac{k_z}{\eta} \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{2}{R-l} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\int_0^{R-l} \left(P_0 + \frac{v_z}{k_z} \left(\frac{Q_m}{F} \right) (R-x) \sin(\lambda_n x) dx \right) \times \right. \right. \\ \left. \left. \exp(-\lambda_n^2 \kappa_z t) \cos(\lambda(R-x)) \right] \right\} \quad (6)$$

де η - динамічна в'язкість газу.

Одержані розв'язки містять параметр λ_n , який залежить від положення ГВК і, отже, є функцією часу. Можна показати, що він є коренем алгебраїчного трансцендентного рівняння

$$\cos \lambda_n R (tg \lambda_n R \cdot tg \lambda_n l - 1) = \exp(\kappa_z - \kappa_z) \cdot (7)$$

Як видно з рівняння, його корені λ_n залежать від положення ГВК на кожен момент часу, отже вони є функціями часу. Тому для реалізації поставленої задачі необхідно побудувати закон руху ГВК.

Розрахунок переміщення ГВК і розподіл тисків в газовій та рідинній областях продуктивного горизонту пропонується проводити, використавши такий алгоритм:

1. Використовуючи передісторію експлуатації ПСГ, вибирають пластові тиски на певний момент часу закачки газу і, використовуючи рівняння системи (5), визначають фіктивний дебіт водяної розвантажувальної свердловини Q_B для кожного з моментів часу.

2. Залежно від мети розрахунку визначений фіктивний дебіт розвантажувальної свердловини як адаптивний параметр можна усереднити, або побудувати функцію його зміни в часі.

3. Використовуючи одержані результати, адаптують рівняння системи (5) і (6) до реальних умов.

4. При заданому початковому положенні ГВК, яке характеризується радіусом $l(t) = l_0$, знаходять корені рівняння (7).

5. Задаються проміжком часу Δt , на кінець якого з рівнянь (5) і (6) визначають розподіл тисків і лінійних швидкостей газу вздовж радіуса.

6. Якщо при цьому швидкість фільтрації газу на відстані l_0 $W(l_0, \Delta t) = 0$ (газодинамічне збурення не дійшло до ГВК), то задаються новим проміжком часу Δt , і розрахунок повторюють, починаючи з п.5.

7. Якщо на кінець j -того проміжку часу $W(l_0, j\Delta t) \neq 0$, то визначають відстань, на яку перемістився ГВК за час Δt $\Delta l = W(l_0, j\Delta t)\Delta t$ і нове значення радіуса ГВК $l = l_0 + \Delta l$.

8. Використовуючи рівняння (7), знаходять нове значення параметра λ_n і будують розподіл тисків та лінійних швидкостей в газовій і рідинній зонах пласта, за яким знаходять нове значення лінійної швидкості газу на межі ГВК. Використавши це значення, повертаються до п.7 і роблять новий часовий крок.

9. Закон переміщення ГВК будують на основі даних про величини Δl на кінець кожного проміжку часу Δt .

Таким чином, одержані математичні моделі гідрогазодинамічних процесів в продуктивному горизонті ПСГ для умов водонапірного режиму закачки газу і запропонований алгоритм їх реалізації дають можливість відтворити реальну картину технологічного процесу створення сховища у виснажених газових родовищах.

Література

1. Чарный И.А. Хранение газа в горизонтальных и пологопадающих пластах.- М.:Недра, 1968 – 265 с.